



지방중소도시의 누수관리방법에 대한 효율성 평가

Efficiency evaluation of water leakage management methods in local small and medium cities

황진수^{1,2}·최태호³·김기범¹·구자용^{1,*}
Jinsoo Hwang^{1,2}·Taeho Choi³·Kibum Kim¹·Jayong Koo^{1,*}

¹서울시립대학교 환경공학과, ²한국수자원공사 인재개발원, ³한국수자원공사 K-water 연구원
¹Department of Environmental Engineering, University of Seoul,
²Human Resources Development Institute, K-water, ³K-water Research Institute, K-water

pp. 113-120

pp. 121-133

pp. 135-142

pp. 143-152

pp. 153-162

pp. 163-174

ABSTRACT

This study set up the estimates of leakage management efficiency evaluation and leakage management goal that could be used in local water distribution networks efficiency business and modernization business. The data were analyzed using data envelopment analysis and multiple regression analysis. To this end, with leakage management input indices concerning leakage reduction activities (e.g., aged pipe replacement, water meter replacement, leakage restoration, and leakage detection) and leakage management calculation indices (e.g., the increase of revenue water ratio and the reduction of leakage ratio), the data on 22 K-water consignment local water supply systems were analyzed for the years from 2004 through 2018. Using the results of efficiency analysis by data envelopment analysis, the other DMUs (Decision Making Unit) benchmarked the DMU with the highest efficiency to maximize the leakage management efficiency for all DMUs. Through this, leakage management goal estimates were drawn with the input indices of four leakage reduction activities and calculation indices of the increase of revenue water ratio and the reduction of leakage ratio by multiple regression analysis for each group based on the revenue water ratio and leakage ratio. The correlation coefficients of the leakage management goal estimate for the criteria for the revenue water ratio amounted to 0.553 and 0.771. The correlation coefficients of the leakage management goal estimate for the

Received 27 January 2021, revised 18 March 2021, accepted 25 March 2021.

*Corresponding author: Jayong Koo (E-mail: jykoo@uos.ac.kr)

- 황진수 (본부장) / Jinsoo Hwang (Vice President)
서울특별시 동대문구 서울시립대로 163, 02504
163, Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Republic of Korea
대전광역시 유성구 유성대로 1689번길 125, 34045
125, Yuseong-daero 1689beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon 34054, Republic of Korea
- 최태호 (책임연구원) / Taeho Choi (Principal Researcher)
대전광역시 유성구 유성대로 1689번길 125, 34045
125, Yuseong-daero 1689beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon 34054, Republic of Korea
- 김기범 (연구교수) / Kibum Kim (Researcher Professor)
서울특별시 동대문구 서울시립대로 163, 02504
163, Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Republic of Korea
- 구자용 (정교수) / Jayong Koo (Professor)
서울특별시 동대문구 서울시립대로 163, 02504
163, Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Republic of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

criteria for leakage ratio were 0.397 and 0.865. Accordingly, we estimated the quantity and priority of four leakage reduction activities for the target leakage ratio and revenue water ratio.

Key words: DEA(Data Envelopment Analysis), Efficiency analysis, Leakage management goal, Regression analysis, Revenue water ratio

주제어: 자료포락분석, 효율성 분석, 누수관리목표, 회귀분석, 유수율

1. 서 론

오늘날 상수도시스템은 제한된 수자원으로부터 생산된 정수를 효율적으로 수요자에게 공급해야 할 필요성이 증가됨에 따라 경제적인 이유에서 배·급수 과정 중 관의 손상 및 파손에 따른 수도관에서 물이 손실되는 현상인 누수에 대한 연구가 시작되었고, 누수에 따른 물손실 관리의 수행능 평가방법에 대한 연구가 많은 연구자들에 의해 계속되고 있다.

많은 지자체에서 상수도시설의 효율적, 합리적 정비를 통해 배수시스템 운용상황을 용이하게 파악할 수 있도록 많은 노력을 하고 있지만 전문적 기술과 전문가의 부족, 운용 경험의 미숙 등으로 인하여 큰 효과를 발휘하지 못하고 있는 실정이다.

국내 지방상수도는 효율성이라는 위기에 직면해 있으며, 지방상수도 운영·관리 성과측정지표로 현재 유수율이라는 단일 지표를 사용하고 있다. 사업계획서에 제시한 목표 유수율을 실제로 달성하면, 사업의 목표는 달성한 것으로 판단하고 있다. 이와 더불어 지방상수도 운영관리 수준 역시 유수율을 통해 평가를 하고 있다.

지방상수도 운영효율화 사업은 K-water에서 2004년 논산을 시작으로 현재 22개 지자체로 확대되었고, 사업의 계획·실행·운영단계에서 성과 개량지표로 유수율과 고객만족도라는 공통기준에 의존하고 있다. 또한, 환경부는 지자체의 재정능력과 지방상수도 지속가능성을 고려하여 노후 상수도 시설 정비를 위한 지방상수도 현대화사업(2017~2024년) 시행이 결정되었고, 이 사업은 유수율 85% 달성을 목표로 전국 100여개 지자체를 대상으로 2017년부터 시행되고 있다. 그리고 이와 같은 유사한 사업이 추진되더라도 사업의 목표로써 유수율을 활용할 수 밖에 없는 실정이다.

일반적으로 지방상수도의 유수율 제고를 위해서는 노후관 교체, 계량기 교체, 누수복구, 누수탐사, 감압밸브 설치 등의 누수저감활동이 필요하다. 하지만, 각

누수저감활동에 대한 유수율 제고 원단위를 알 수 없어, 지방상수도 운영효율화 사업이나 지방상수도 현대화사업 등에 대한 사업비 산정시 근거자료가 부족하며, 해당 사업에 대한 유수율 제고 전략 수립이나 누수관리 목표 산정시 현실 반영에 어려움이 있는 실정이다.

최근 국내에서는 자료포락분석 방법을 이용하여 상수관망 분야에 대한 운영효율성 평가와 관련된 연구가 Choi et al. (2015), Kim et al. (2015) 등을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 하지만, 구체적이고 정확한 데이터를 활용하지 못했다는 측면에서 실제 지방상수도 효율화사업 및 현대화사업에서 활용하지 못하고 있으며, 이는 기존 연구에 대한 적용 한계성을 들어낸 것이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 2004~2018년 동안 수행한 지방상수도 효율화사업시 축적된 실 데이터를 활용하여 공공분야 효율성 분석에 활용성이 높은 자료포락분석과 대표적인 통계적 방법인 회귀분석 방법을 이용하여 지방상수도 효율화사업 및 현대화사업 등 지방중소도시를 대상으로 한 누수관리 효율성 평가와 누수관리 목표 산정을 위한 실제적인 방법론을 검증하고, 관련 사업 수행시 활용방안을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 상수관망에서의 누수관리

누수는 특성에 따라 파열누수와 이면누수로 구분할 수 있다. 이면누수는 관 연결부위나 접합부에서 발생하는 누수로 누수량이 너무 작아 인지하기 어렵다. 이에 반해 파열누수는 신고파열과 미신고 파열로 구분된다. 신고와 미신고의 구분은 Lambert (1994)에 의해 제시된 BABE(Background and burst estimate)기술에 의한 분류에서 처음 제시 되었다.

IWA Water Losses Task Force에서는 누수관리방법에

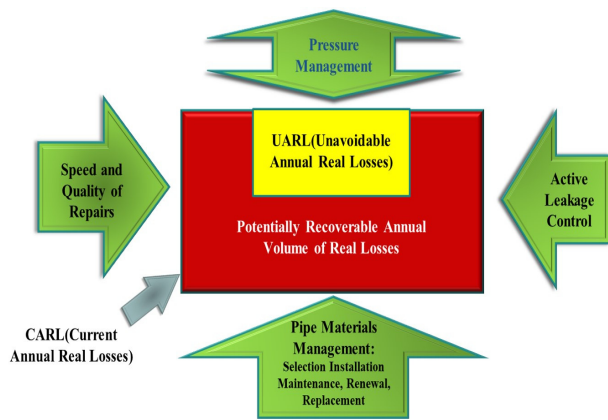


Fig. 1. Four potential intervention tools of an active real losses management program(IWA water loss task force and AWWA water losses control committee).

다른 누수량의 변화를 허용가능한 실손실량(Unavoidable Annual Real Loss; UARL), 현재 연간 실손실량(Current Annual Real Losses; CARL), 잠재적으로 회복가능한 실손실량(Potentially Recoverable Real Losses; PRRL) 개념을 이용하여 다음 Fig. 1과 같이 제시하였으며 누수관리방법은 적극적 누수탐사, 신속·정확한 누수 복구, 적절한 관체관리, 수압관리의 4가지 요소로 구분하고 있다. 본 연구에서는 IWA에서 제시한 4가지 누수관리 요소를 고려하여 누수관리 효율성 평가 및 누수관리 목표 산정을 위한 투입자료를 선정하였다.

2.2 자료포락분석

2.2.1 기본이론

자료포락분석은 비슷한 서비스를 제공하는 조직에 대하여 효율성을 평가하는데 매우 효과적인 선형계획 기법 중에 하나이다. 자료포락분석은 사전에 구체적인 함수형태를 가정하여 모수를 추정하는 기존의 효율성 측정방식과는 달리 선형계획법에 의해 평가대상의 경험적인 투입요소와 산출요소 사이의 자료를 이용하여 경험적인 효율변경(준거기준)을 선정한 뒤 평가대상들이 이러한 준거기준으로부터 얼마나 떨어져 있는지 여부를 파악함으로써 비효율성을 측정하는 기법이다 (K-water, 2012).

자료포락분석 방법은 특정 수준의 투입을 통해 특정 수준의 산출을 도출할 수 있는 것을 ‘생산가능하다’라고 하고, 생산가능한 투입과 산출의 조합 모두를 생산가능집합이라고 한다. 생산가능집합의 가장 외곽 경계를

생산변경이라고 하고 생산변경에 위치한 생산가능집합은 가장 효율적인 상태에 있다고 한다. 그리고, 자료포락분석 모형은 규모수익에 따라 CCR모형과 BCC모형으로 구분되며, CCR모형은 규모수익불변(CRS)을 만족하는 생산가능집합에서 산출수준을 고정시켜 투입을 최소화시킬 수 있는 비율을 도출하는 방법이고, BCC모형은 가변규모수익(VRS)을 가정하여 모든 투입요소가 비례적으로 증가될 때 도출되는 산출을 분석하는 방법이다.

본 연구에서는 CCR모형과 BCC모형 중 특정 DMU에 따른 결과 왜곡을 최소화시켜 주기 위하여 BCC모형을 사용하였으며, BCC모형의 생산변경을 기준으로 다른 비효율적인 DMU를 벤치마킹하여 각 DMU별 가장 효율적인 산출과 투입을 도출하는데 활용하였다.

2.2.2 자료포락분석을 이용한 관련 연구 동향

자료포락분석 방법은 공공서비스 분야에 대한 효율성 평가를 위한 방법으로 많이 활용되고 있으며, 특히 상수도사업 분야에 대해서도 다음과 같은 여러 연구들이 활발히 이루어지고 있다.

Lee (2004)는 71개 수도사업자를 대상으로 투입지표로 직원수, 1 m³당 원가, 산출지표로는 상수도보급률, 1인1일급수량(lpcd)로 하여 분석한 바 있고, Won (2010)은 48개 수도사업자를 대상으로 투입지표는 급수인구당 원정수비, 일반관리비, 급수공사비, 감가상각비, 영업외비용으로 하고, 산출지표는 우수율과 매출액으로 하여 분석한 바 있다. 이외에도 Choi and Cho (2014), Ko et al. (2015), Kim et al. (2015) 등의 연구에서 유사한 연구가 이루어진 바가 있지만 위 연구들은 상수도사업 경영 효율성 평가를 수행한 것이지만 상수도사업에서의 우수율 제고 및 누수관리 측면에서 효율성을 분석한 연구는 아니었다.

다만, 최근에 자료포락분석 방법을 이용한 우수율 제고 및 누수관리 목표산정을 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 Choi et al. (2015)는 상수도통계 자료를 이용하여 지자체별 누수관리 효율성을 평가하였고, Kim et al. (2015)은 배수관망 개량사업지역에서 소블록 단위로 누수관리 비용 대비 효과에 대한 최적화 모델을 제시한 바 있다. 하지만 이들 연구들도 상수관망에서의 누수관리 목표산정을 위한 자료포락분석 방법 방법의 적용사례로써는 의미가 있지만, 구체적이고 실제 데이터를 활용하지 못했다는 측면에서

연구의 한계가 있었던 것도 사실이다. 즉, Choi et al. (2015)는 상수도통계 자료에 의존하여 누수관리 효율성 분석을 위한 DMU를 지자체 단위로 한정되어 있었고, 투입지표와 산출지표 선정에 한계가 있었으며, Kim et al. (2015)은 특정지역을 대상으로 소블록 단위로 DMU 설정할 수 있었지만, 분석대상기간이 짧고, DMU수가 매우 부족하여 분석결과에 대한 신뢰성에 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 기존 Choi et al. (2015)와 Kim et al. (2015)이 누수관리 효율성 분석에서 활용하였던 자료포락분석 방법을 실데이터를 활용하여 검증하고, 활용도를 높이기 위해 투입지표, 산출지표 및 DMU 등을 새롭게 제시하였다.

2.3 회귀분석

회귀분석은 변수 간의 인과관계를 파악하는 분석방법으로, 독립변수를 이용하여 종속변수를 예측할 수 있는 구체적인 함수식을 찾아낸다. 이를 이용하여 독립변수의 변화에 따른 종속변수의 변화를 예측하고 설명하는 데 활용할 수 있다. 본 연구에서는 자료포락분석 결과 생산변경으로 벤치마킹된 DMU를 대상으로 회귀분석을 시행하였으며, 투입지표는 독립변수로 하고 산출지표는 종속변수로 하여 분석하였다.

3. 연구방법

본 연구에서는 자료포락분석과 회귀분석 방법을 활용하여 지방상수도 효율화사업 및 현대화사업 등에서 활용 가능한 누수관리 효율성 평가와 누수관리 목표 산정방법을 검증하기 위하여 다음 Fig. 2와 같은 절차로 연구를 수행하였다.

먼저, 노후관 교체(PR, Pipe Replacement), 계량기 교체(MR, Meter Replacement), 누수복구(R, Repair), 누수탐사(LD, Leakage Detection)의 누수저감활동에 대한 누수관리 투입지표와 유수율 증가량(RWRI, Revenue Water Ratio Increase), 누수율 감소량(LRR, Leakage Ratio Reduction)의 누수관리 산출지표에 대해서 각 22개 K-water 위수탁 지방상수도의 2014~2018년까지에 대한 연도별로 데이터를 정리하였다. 누수관리 투입지표 중 감압밸브설치, 블록시스템 구축, 소규모 유량감시시스템, 누수감시센서 등은 활용시기 및 빈도가 불규칙적이고, 그 효과를 정량화하기 어려워 제외하였다. 그리고, 누수관리 수준이 높을 경우 기존 인프라 수준에 따라 누수저감활동 효과가 큰 차이가 나기 때문에 누수관리 수준이 비교적 낮은 유수율 70% 미만, 누수율 20% 이상에 대해서만 분석하였다.

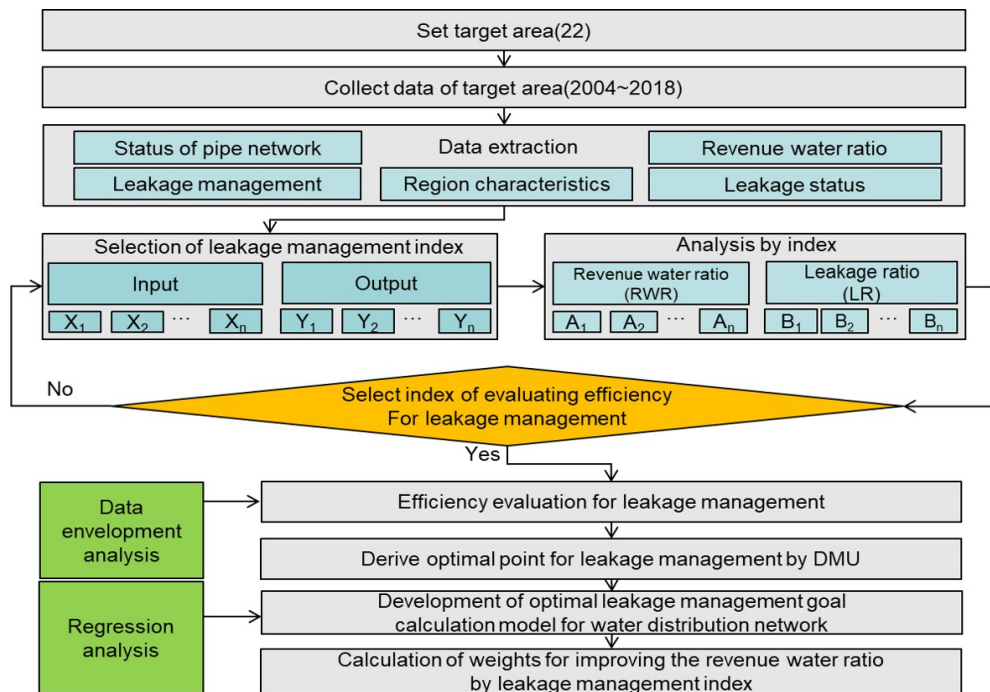


Fig. 2. The flow chart of this study.



Table 1. Input and output index by DMU for DEA analysis

DMU	Leakage level		Input index				Output index		
	Index	RWR	LR	PR	MR	R	LD	RWRI	LRR
	Unit	%	%	km/km×million	No./Per.×1000	No./km×1000	No./km×1000	%	%
TY2011	47.1	40.5	28.776	40.958	1.771	1.261	6.7	-5.7	
HP2011	49.3	28.5	0.000	30.599	0.359	0.186	-0.9	0.1	
HP2010	50.2	28.6	19.158	141.390	0.645	0.250	5.4	-0.2	
BW2014	52.2	43.1	0.229	37.663	0.107	0.000	-15.2	-15.5	
NS2005	54.1	36.3	11.594	35.942	2.839	0.516	-2.6	0.2	
JD2014	54.8	40.7	22.270	89.247	0.489	0.249	9.0	9.7	
BW2015	57.6	31.6	9.971	114.219	0.455	0.213	5.4	11.5	
SC2007	58.0	36.0	24.310	24.889	0.920	0.456	10.9	-0.4	
KS2011	58.3	36.6	14.601	59.704	0.464	0.630	10.6	3.2	
WD2015	59.3	40.7	7.408	14.482	0.298	0.160	8.7	8.7	
TY2012	59.6	35.9	35.705	27.696	1.934	0.756	12.5	4.6	
HP2012	59.8	35.7	0.000	30.473	0.346	0.147	10.5	-7.2	
CS2018	59.8	37.0	0.000	227.128	0.644	0.319	0.1	3.3	
GR2008	60.6	35.0	8.053	32.365	1.137	0.272	9.2	8.4	
HP2013	62.5	28.6	10.347	1.468	0.457	0.269	2.7	7.1	
JU2006	62.7	32.0	16.094	19.853	0.842	0.072	9.7	8.0	
DY2009	64.1	14.1	13.584	67.877	0.762	0.593	2.5	0.4	
YC2007	64.2	27.9	40.304	55.074	2.100	0.100	7.1	-4.2	
NS2006	64.5	29.4	45.217	10.604	4.322	0.180	10.4	6.9	
BW2016	64.9	25.9	29.730	52.147	0.505	0.207	7.3	5.7	
SC2008	65.2	28.9	15.390	21.729	0.802	0.318	7.2	7.1	
KS2012	66.2	29.0	41.112	36.274	0.659	0.342	7.9	7.6	
GJ2009	66.4	27.4	18.491	5.685	2.846	1.097	7.6	9.4	
JD2015	66.7	28.5	30.748	31.010	0.315	0.293	11.9	12.2	
JU2007	67.7	15.1	32.885	8.071	0.951	0.292	5.0	16.9	
GJ2010	67.8	26.9	19.846	7.281	1.717	0.763	1.4	0.5	
WD2016	67.9	27.2	40.430	30.411	0.336	0.258	8.6	13.5	
GS2009	69.5	25.1	32.920	23.754	0.905	0.237	-1.1	-1.0	
NS2007	69.8	27.5	125.818	10.432	2.604	0.074	5.3	1.9	
TY2013	70.0	25.1	31.180	16.410	0.920	0.487	10.4	10.8	
BW2017	70.2	24.5	83.334	36.357	0.450	0.227	5.3	1.4	
GS2008	70.6	24.1	0.000	34.102	0.905	0.203	9.9	10.9	
JH2014	71.2	28.8	1.429	30.328	0.393	0.259	7.6	7.6	
GS2013	71.3	23.8	2.363	43.630	1.108	0.338	-3.6	-4.3	
NJ2009	71.6	23.8	6.918	20.583	0.071	0.364	7.1	6.9	
NJ2010	72.1	23.3	4.266	12.248	0.208	0.238	0.5	0.5	
GR2010	72.3	21.2	2.448	15.603	0.599	0.057	0.2	-8.8	
SC2009	72.4	22.9	15.699	23.642	0.762	0.343	7.2	6.0	

pp. 113-120

pp. 121-133

pp. 135-142

pp. 143-152

pp. 153-162

pp. 163-174

Table 1. Continued

DMU	Leakage level		Input index				Output index	
	Index	RWR	LR	PR	MR	R	LD	RWRI
Unit	%	%	km/km×million	No./Per.×1000	No./km×1000	No./km×1000	%	%
BW2018	72.4	22.2	1.181	37.959	0.320	0.144	2.2	2.3
GJ2011	72.5	22.1	4.573	10.226	0.549	0.424	4.7	4.8
HP2014	72.5	23.0	10.138	1.607	0.554	0.118	10.0	5.6
HP2015	72.5	23.0	0.000	19.289	0.316	0.248	0.0	0.0
GS2010	72.8	20.8	99.784	34.218	1.178	0.316	3.3	4.3
KS2013	73.0	22.5	21.526	35.108	0.457	0.248	6.8	6.5
YC2009	73.4	21.2	25.111	53.714	0.391	0.391	1.9	-13.7
SC2010	74.0	21.2	6.881	19.135	0.644	0.365	1.6	1.7
DY2011	74.0	21.5	2.264	42.683	0.498	0.340	2.6	-2.1
TY2017	75.4	20.1	5.813	11.262	0.419	0.253	-4.5	-4.5
DD2009	78.7	20.9	16.062	22.387	0.282	0.111	0.5	-4.1

Table 2. Classification criteria of DMU by leakage level

Leakage level	Revenue Water Ratio(RWR)		Leakage Ratio(LR)	
Classification criteria	Less than 60%	60 ~ 70%	30% or more	20 ~ 30%
No. of DMU	13	16	13	34

누수관리 투입지표의 경우에는 지방상수도의 규모별 차이를 상쇄시키기 위하여 노후관 교체, 누수복구, 누수탐사는 총 관연장으로 나누고, 계량기 교체는 급수인구로 나눈 값으로 사용하였으며, 연도별 22개 K-water 위수탁 지방상수도 198개 DMU중에서 유수율 70% 미만 29개 DMU, 유수율 20% 이상 47개 DMU로 다음 Table 1과 같이 설정하였다.

누수수준별 누수저감활동에 대한 원단위가 차이나는 것을 고려하기 위하여 유수율 및 누수율과 같은 산출지표를 활용하여 각 DMU별 누수수준을 다음 Table 2와 같이 구분하였다.

누수관리를 위한 투입지표와 산출지표를 활용하여 자료포락분석 방법을 통해 누수관리효율성 평가와 누수관리에 대한 최적점을 도출하였으며, 자료포락분석은 EnPAS 소프트웨어를 사용하였다. 그리고, 자료포락분석 결과를 활용하여 회귀분석을 수행하고 이를 통해 누수관리 목표 산정 모델과 누수관리 지표별 유수율 제고 우선순위를 산정함으로써 누수저감활동별 누수관리 목표 산정을 위한 원단위를 도출할 수 있도록 하였다.

4. 연구결과

4.1 자료포락분석

4.1.1 누수관리 효율성 평가

(1) 유수율 기준

산출지표를 유수율 증가량으로 투입지표는 노후관 교체, 계량기 교체, 누수복구, 누수탐사로 각각 설정하고 누수관리수준은 유수율로 구분하여 각 누수관리수준별 누수관리 효율성 평가 결과는 Fig. 3과 같다. 누수관리 효율성 평가는 투입지향의 CCR모형을 이용한 기술효율성(CRS) 투입지향의 BCC모형을 이용한 순기술효율성(VRS)과 규모효율성(SE)의 분석한 결과로 표현 가능하다.

유수율 60% 미만 그룹 중 규모효율성이 가장 높게 나타나는 DMU는 WD2015, HP2012로 나타났고, 해당 DMU는 규모수익불변 하의 효율성과 규모수익가변 하의 효율성 수준이 최대인 1로 나타나 투입된 누수저감활동 대비 유수율 증가량이 가장 높으며, 이는 유수율 60% 미만 그룹 중에서 가장 누수관리가 효율적으로 이루어지고 있다는 것을 의미한다. 반면 투입된



누수저감활동 대비 유수율 증가량이 가장 작은 규모 효율성 0값을 가진 DMU는 HP2011, BW2014, NS2005이며, 이는 규모수익 가변하에서는 상대적 효율성이 높으나, 규모수익불변하에서는 효율성이 낮게 나타나기 때문이다. 즉 해당 DMU는 누수관리를 효율적으로 실시하고 있지 못하다는 것을 의미한다.

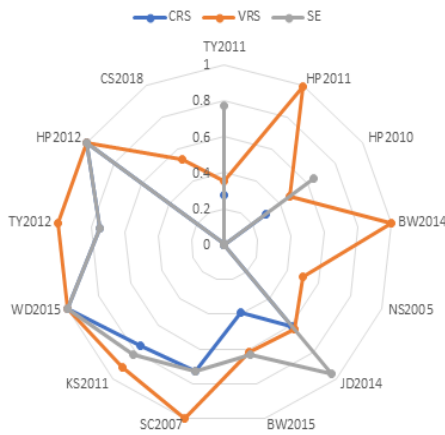
이와 같은 방식으로 유수율 60~70% 그룹에 대하여 규모효율성이 1인 DMU는 GR2008, HP2013 등 6개이며, 규모효율성이 0인 DMU는 GS2009로 분석되었다.

(2) 누수율 기준

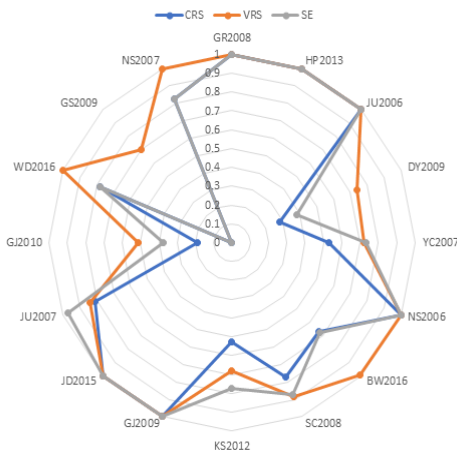
산출지표를 누수율 감소량으로 투입지표는 노후관 교체, 계량기 교체, 누수복구, 누수탐사로 각각 설정하

고 누수관리수준은 누수율로 구분하여 각 누수관리 수준별 누수관리 효율성 평가결과는 Fig. 4와 같다.

누수율 30%이상 그룹 중 규모효율성이 가장 높게 나타나는 DMU는 WD2015, CS2018, JU2006로 나타났고, 해당 DMU는 규모수익불변 하의 효율성과 규모수익가변 하의 효율성 수준의 가 최대인 1로 나타나 투입된 누수저감활동 대비 누수율 감소량이 가장 좋으며, 이는 누수율 30% 이상 그룹 중에서 가장 누수관리가 효율적으로 이루어지고 있다는 것을 의미한다. 반면 투입된 누수저감활동 대비 누수율 감소량이 가장 작은 규모 효율성 0값을 가진 DMU는 TY2011, BW2014, SC2007, HP2012이며, 이는 규모수익 가변하에서는 상대적 효율성이 높으나, 규모수익불변하에서는 효율성이 낮게 나타

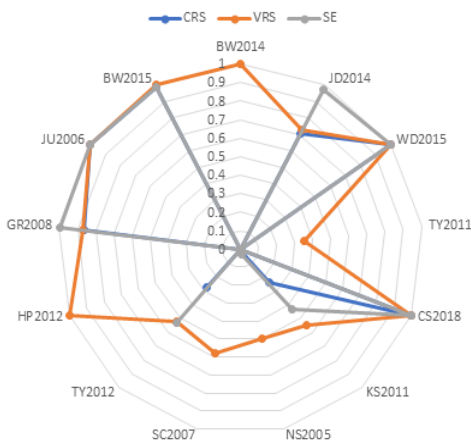


Less than 60% Group

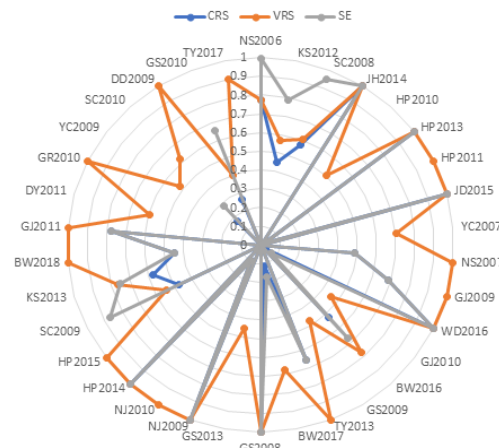


60~70% Group

Fig. 3. Leakage management efficiency evaluation results based on revenue water ratio.



30% or more Group



20~30% Group

Fig. 4. Leakage management efficiency evaluation results based leakage ratio.

pp. 113-120

pp. 121-133

pp. 135-142

pp. 143-152

pp. 153-162

pp. 163-174

나기 때문이다. 즉 해당 DMU는 누수관리를 효율적으로 실시하고 있지 못하다는 것을 의미한다.

이와 같은 방식으로 누수율 20~30% 그룹에 대하여 규모효율성이 1인 DMU는 JH2014, HP2013 등 7개이며, 규모효율성이 0인 DMU는 HP2010, YC2007 등 10개로 분석되었다. 우수율 및 누수율 기준에 대한 누수관리 효율성 평가 결과를 통해서 알 수 있듯이, 누수관리에 효율적인 DMU와 그렇지 못한 DMU를 구분할 수 있으며, DMU별 순위도 도출할 수 있다. 따라서 본 결과를 활용한다면 지방중소도시에 대한 누수관리 방법에 대한 효율성을 상대적으로 비교 가능하고, 이를 통해 보다 효율적인 누수관리방법을 도출하는데 활용가능할 것으로 판단된다.

우수율 및 누수율 기준에 대한 누수관리 효율성 평가 결과는 경제적 효율성을 의미하지는 않으며, 이는 DMU의 상대적인 누수저감활동 비율에 대한 개념이 적용되었기 때문이다. 따라서 본 결과는 해당 그룹 범위 및 분석조건 내에서만 상대적 비교가 가능하다는 한계점을 고려하여 활용하여야 한다.

4.1.2 누수관리에 대한 최적점 도출

(1) 우수율 기준

우수율 기준 29개 DMU에 대한 누수관리수준 그룹별로 4가지 누수저감활동에 대한 투입지표와 우수율 증가량을 산출지표로 누수관리 효율성 분석을 하였다. 효율성 분석결과를 이용하여 가장 효율성이 높은

것으로 판단되는 DMU를 기준으로 비효율적인 DMU는 투입 및 산출과 관련된 여유변수와 참조집합이 제공하는 가중치를 통해서 누수저감활동 대비 우수율 증가량이 최대로 나타나는 투영점(최적효율점)을 계산하였다.

다음 Table 3은 우수율 60% 미만 그룹에 대한 투입과다분과 최적 투입점을 계산한 결과이다.

누수관리 효율성 분석결과 규모효율성이 0으로 가장 비효율적인 것으로 나타난 HP2011 DMU를 예를 들어 설명하면, HP2011은 Table 3에서와 같이 계량기 교체 0.126, 누수복구 0.013, 누수탐사 0.039 만큼의 투입지표에 대한 투입과다분이 발생하였고, 각 투입지표별 기존 투입분에서 투입과다분을 차감해주면 계량기 교체 30.473, 누수복구 0.346, 누수탐사 0.147의 최적 투입량을 도출할 수 있다. 이와 같은 방법으로 우수율 60~70% 그룹에 대한 투입과다분과 최적 투입점을 계산한 결과는 Table 4와 같다.

본 분석결과는 누수관리 효율성 평가를 통해 각 그룹별 DMU의 효율성 순위를 도출할 수 있을 뿐만 아니라, 우수율 제고 측면에서 비효율적인 DMU가 효율적인 DMU의 누수저감활동 방법을 벤치마킹하여 각 DMU별로 효율적인 누수관리방법을 제시해 줄 수 있다는 점에서 더 큰 의미가 있다.

(2) 누수율 기준

198개 DMU에 대하여 누수율에 따른 누수관리수준

Table 3. Calculation of optimal projection points for groups with revenue water ratio of less than 60%

DMU	Excessive input				Optimal projection points			
	PR	MR	R	LD	PR	MR	R	LD
Unit	km/km×million	No./Per.×1000	No./km×1000	No./km×1000	km/km×million	No./Per.×1000	No./km×1000	No./km×1000
TY2011	21.367	26.476	1.473	1.101	7.409	14.482	0.298	0.160
HP2011	0	0.126	0.013	0.039	0	30.473	0.346	0.147
HP2010	19.112	109.49	0.347	0.133	0.046	31.900	0.298	0.117
BW2014	0	0	0	0	0.229	37.663	0.108	0
NS2005	5.799	17.977	2.53	0.359	5.795	17.965	0.309	0.157
JD2014	16.384	71.459	0.181	0.092	5.886	17.789	0.308	0.157
BW2015	5.604	91.962	0.175	0.082	4.367	22.257	0.281	0.131
SC2007	0	0	0	0	24.310	24.889	0.920	0.456
KS2011	12.816	29.37	0.038	0.453	1.785	30.334	0.426	0.177
WD2015	0	0	0	0	7.408	14.482	0.298	0.160
TY2012	0	0	0	0	35.705	27.696	1.934	0.756
HP2012	0	0	0	0	0	30.473	0.346	0.147
CS2018	0	196.655	0.298	0.173	0	30.473	0.346	0.146



그룹별로 4가지 누수저감활동에 대한 투입지표와 누수율 감소량을 산출지표로 누수관리 효율성 분석을 하였다. 효율성 분석결과를 이용하여 효율성이 가장 높은 DMU를 나머지 DMU들이 벤치마킹을 하여 누수관리 효율성을 극대화시킬 수 있는 누수저감활동에 대한 최적 투입량 유수율 증가량을 산출지표로 한 방법과 동일한 방법으로 산정하였다.

다음 Table 5는 누수율 30% 이상 그룹에 대한 투입

과다분과 최적 투입점을 계산한 결과이다.

누수관리 효율성 분석결과 규모효율성이 0으로 가장 비효율적인 것으로 나타난 TY2011 DMU를 예를 들어 설명하면, TY2011는 Table 5에서와 같이 노후관 교체 21.367, 계량기 교체 26.476, 누수복구 1.473, 누수탐사 1.101 만큼의 투입지표에 대한 투입과다분이 발생하였고, 각 투입지표별 기존 투입분에서 투입과다분을 차감 해주면 노후관 교체 7.409, 계량기 교체 14.482, 누수복구

Table 4. Calculation of optimal projection points for groups with revenue water ratio of 60~70%

DMU	Excessive input				Optimal projection points			
	PR	MR	R	LD	PR	MR	R	LD
Unit	km/km×million	No./Per.×1000	No./km×1000	No./km×1000	km/km×million	No./Per.×1000	No./km×1000	No./km×1000
GR2008	0	0	0	0	8.053	32.365	1.138	0.272
HP2013	0	0	0	0	10.347	1.468	0.457	0.269
JU2006	0	0	0	0	16.094	19.853	0.842	0.072
DY2009	3.585	61.721	0.201	0.323	9.999	6.156	0.561	0.270
YC2007	24.211	35.222	1.257	0.028	16.093	19.852	0.843	0.072
NS2006	0	0	0	0	45.217	10.604	4.322	0.180
BW2016	0.289	28.556	0.005	0.002	29.441	23.591	0.500	0.205
SC2008	1.821	2.571	0.095	0.06	13.569	19.158	0.707	0.258
KS2012	13.107	14.218	0.21	0.109	28.005	22.057	0.449	0.233
GJ2009	0	0	0	0	18.491	5.685	2.846	1.097
JD2015	0	0	0	0	30.748	31.010	0.315	0.293
JU2007	19.378	1.312	0.155	0.047	13.507	6.759	0.796	0.245
GJ2010	9.667	3.548	1.21	0.494	10.179	3.733	0.507	0.269
WD2016	0	0	0	0	40.431	30.411	0.336	0.258
GS2009	13.748	7.173	0.273	0.072	19.172	16.581	0.632	0.165
NS2007	0	0	0	0	125.818	10.432	2.604	0.074

Table 5. Calculation of optimal projection points for groups with leakage ratio of 30% or more

DMU	Excessive input				Optimal projection points			
	PR	MR	R	LD	PR	MR	R	LD
Unit	km/km×million	No./Per.×1000	No./km×1000	No./km×1000	km/km×million	No./Per.×1000	No./km×1000	No./km×1000
BW2014	0	0	0	0	0.229	37.663	0.108	0
JD2014	13.947	39.150	0.134	0.070	8.323	50.098	0.355	0.179
WD2015	0	0	0	0	7.408	14.482	0.298	0.160
TY2011	21.367	26.476	1.473	1.101	7.409	14.482	0.298	0.160
CS2018	0	0	0	0	0	227.128	0.644	0.319
KS2011	8.824	39.953	0.209	0.507	5.777	19.751	0.255	0.123
NS2005	5.799	17.977	2.530	0.359	5.795	17.965	0.309	0.157
SC2007	16.901	10.407	0.621	0.296	7.409	14.482	0.299	0.160
TY2012	28.297	13.215	1.636	0.596	7.408	14.481	0.298	0.160
HP2012	0	0	0	0	0.000	30.473	0.346	0.147
GR2008	1.067	4.276	0.817	0.102	6.986	28.089	0.321	0.170
JU2006	0	0	0	0	16.094	19.853	0.842	0.072
BW2015	0	0	0	0	9.971	114.219	0.456	0.213

pp. 113-120

pp. 121-133

pp. 135-142

pp. 143-152

pp. 153-162

pp. 163-174

Table 6. Calculation of optimal projection points for groups with leakage ratio of 20~30%

DMU	Excessive input				Optimal projection points			
	PR	MR	R	LD	PR	MR	R	LD
Unit	km/km×million	No./Per.×1000	No./km×1000	No./km×1000	km/km×million	No./Per.×1000	No./km×1000	No./km×1000
NS2006	34.392	2.396	3.733	0.041	10.8248	8.2083	0.5887	0.1391
KS2012	17.659	15.582	0.283	0.147	23.4528	20.6925	0.376	0.1951
SC2008	6.092	8.601	0.317	0.126	9.2978	13.1278	0.4845	0.1916
JH2014	0	0	0	0	1.4286	30.3282	0.3929	0.2589
HP2010	10.481	114.005	0.319	0.123	8.6767	27.3847	0.3264	0.1271
HP2013	0	0	0	0	10.3468	1.4684	0.4573	0.2691
HP2011	0	0	0	0	0	30.599	0.3587	0.1857
JD2015	0	0	0	0	30.7484	31.0096	0.3153	0.2925
YC2007	11.798	42.893	1.106	0.029	28.5064	12.1813	0.9936	0.071
NS2007	0	0	0	0	125.8183	10.432	2.604	0.0736
GJ2009	0	0	0	0	18.4909	5.6849	2.8457	1.0969
WD2016	0	0	0	0	40.4305	30.4114	0.3364	0.2581
GJ2010	10.811	3.966	1.164	0.585	9.0346	3.3146	0.553	0.178
BW2016	17.399	26.5	0.112	0.046	12.3311	25.647	0.3925	0.1612
GS2009	20.275	12.423	0.473	0.124	12.6451	11.3314	0.4323	0.113
TY2013	0	0	0	0	31.1802	16.4095	0.9196	0.4874
BW2017	60.852	11.692	0.145	0.073	22.4825	24.6651	0.3055	0.1545
GS2008	0	0	0	0	0	34.1024	0.9045	0.2028
GS2013	1.293	23.873	0.661	0.185	1.0698	19.7571	0.4471	0.1529
NJ2009	0	0	0	0	6.9176	20.5831	0.071	0.3641
NJ2010	0	0	0	0	4.2665	12.248	0.208	0.2382
HP2014	0	0	0	0	10.1377	1.6065	0.5539	0.1175
HP2015	0	0	0	0	0	19.2886	0.3164	0.2477
SC2009	7.136	10.747	0.346	0.156	8.5631	12.8951	0.4161	0.1868
KS2013	5.073	8.271	0.108	0.058	16.4532	26.8368	0.3494	0.1896
BW2018	0	0	0	0	1.1806	37.9588	0.3199	0.1442
GJ2011	0	0	0	0	4.5732	10.2265	0.5488	0.4241
DY2011	0.912	17.203	0.201	0.137	1.3519	25.4805	0.2971	0.2026
GR2010	0	0	0	0	2.4484	15.6034	0.5985	0.0571
YC2009	12.424	31.992	0.187	0.187	12.6865	21.7217	0.2039	0.2039
SC2010	2.631	7.315	0.246	0.14	4.2496	11.8196	0.3981	0.2251
DD2009	0	0	0	0	16.0616	22.3873	0.2822	0.1107
GS2010	91.981	20.531	0.707	0.19	7.803	13.6867	0.4706	0.1261
TY2017	0.571	1.107	0.041	0.025	5.2423	10.1548	0.3776	0.2276

0.298, 누수탐사 0.160의 최적 투입량을 도출할 수 있다.

이와 같은 방법으로 나머지 누수율 20~30% 그룹에 대한 투입과다분과 최적 투입점을 계산한 결과는 Table 6과 같다.

유수율 기준에 대한 분석결과와 마찬가지로 비효율적인 DMU가 효율적인 DMU의 누수저감활동 방법을 벤치마킹하여 각 DMU별로 효율적인 누수관리방법을 제시해줄 수 있다는 점에서 동일하다. 다만, 누수관리

를 위한 목표가 유수율 제고가 아닌 누수량 저감이기 때문에 노후계량기 교체 포함 여부 등 그 활용 목적에 따라 구분하여 활용 가능할 것으로 판단된다.

4.2 회귀분석

4.2.1 유수율 기준 누수관리 목표 산정식 도출

유수율에 따른 누수관리수준 그룹별로 4가지 누수



Table 7. Results of multiple regression analysis

Leakage level	Variables	Unstandardized coefficient		Standardized coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
Less than 60% Group	(constant)	0.077	2.801		0.027	0.979
	LD(X4)	22.168	10.065	0.553	2.202	0.050
60~70% Group	(constant)	0.359	1.523		0.236	0.817
	MR(X2)	0.266	0.065	0.761	4.100	0.001
	R(X3)	1.559	0.580	0.499	2.686	0.019

저감활동에 대한 투입지표와 유수율 증가량을 산출지표로 누수관리 효율성 분석을 수행하였고, 이를 통해 도출된 투입지표에 대한 최적 효율점을 근거로 회귀 분석을 통해 누수관리 목표 산정식을 도출하였다. 본 연구에서는 회귀분석 방법중 단계별로 통계적 유의성이 있는 독립변수는 포함시키고, 통계적 유의성이 없는 독립변수는 제거하는 방법인 단계선택법을 적용하였다.

유수율에 따른 누수관리수준 그룹별 회귀분석 결과는 다음 Table 7과 같다.

유수율 60%미만 그룹에 대한 회귀분석 결과 누수탐사에 대한 독립변수만 포함되었고, 상관계수는 0.553이며, 비표준화계수를 통한 누수관리 목표 산정식은 다음과 같이 도출되었다.

$$Y_{A1} = 0.077 + 22.168X_4 \quad (1)$$

여기서,

$$Y_{A1} = \text{유수율 60\% 미만 그룹에 대한 유수율증가량(\%)} \\ X_4 = \text{누수탐사(건/km} \times 1,000)$$

위 도출된 누수관리 목표 산정식은 유수율 증가량은 누수탐사에 크게 의존하며, 노후관 교체, 계량기 교체, 누수복구의 경우에는 유수율증가량과의 유의한 관계를 찾기 어렵다는 것을 의미한다. 다시 말해 누수탐사를 통한 누수저감활동을 우선적으로 적용하는 것이 누수관리 측면에서 가장 효율적인 것이라고 할 수 있다.

그리고, 위 식의 상수인 0.077은 누수저감활동을 하지 않을 경우에 대한 자연적인 유수율 증가율을 의미하며, 일반적으로 음수 값을 가져야 하지만, 1개의 독립변수만 채택이 되었다는 점, 유수율수준이 낮은 점, 기존 4개의 누수저감활동 이외의 직간접적인 누수저감활동을 지표로 활용하지 않은 점 등에 의해 0에 가

까운 양수로 나타났다.

이와 같은 방식으로 유수율 60~70% 그룹에 대한 누수관리 목표 산정식을 산정해보면 식(2)과 같고, 상관계수는 0.771이다.

$$Y_{A2} = 0.359 + 0.266X_2 + 1.559X_3 \quad (2)$$

여기서,

$$Y_{A2} = \text{유수율 60\%~70\% 그룹에 대한 유수율증가량(\%)} \\ X_2 = \text{계량기 교체(건/인} \times 1,000) \\ X_3 = \text{누수복구(건/km} \times 1,000)$$

유수율 60% 미만 그룹과 60~70% 그룹에 대한 누수관리 목표 산정식 도출결과 2가지 식 모두 상수는 양의 값으로 산정되었으며, 이는 유수율 제고를 위한 노력 없이도 유수율이 증가할 수 있다는 것을 의미하기는 하지만, 본 연구에서 사용된 데이터가 자연적인 유수율 감소량보다 훨씬 큰 누수저감활동을 수행한 것만 포함되었기 때문인 것으로 판단된다. 만약 만약 유수율이 80% 이상에 대한 누수관리 목표 산정식을 도출할 수 있다면, 누수저감활동에 대한 효율이 떨어져 상수값은 음의 값이 될 것으로 예측할 수 있다. 그리고, Table 7의 표준화 계수는 유수율 수준 그룹별 유수율증가를 위한 누수저감활동별 가중치를 의미하며, 이 결과를 바탕으로 유수율 수준별 누수저감활동에 대한 우선순위로 활용할 수 있다.

4.2.2 유수율 기준 누수관리 목표 산정식 도출

유수율에 따른 누수관리수준 그룹별로 4가지 누수저감활동에 대한 투입지표와 유수율감소량을 산출지표로 하여 유수율 기준과 동일한 방법으로 누수관리 효율성 분석을 위한 회귀분석을 실시하였다. 그 결과는 다음 Table 8과 같다.

pp. 113-120

pp. 121-133

pp. 135-142

pp. 143-152

pp. 153-162

pp. 163-174

Table 8. Results of multiple regression analysis

Leakage level	Variables	Unstandardized coefficient		Standardized coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
30% or more Group	(constant)	-15.781	3.655		-4.318	0.002
	PR(X1)	1.287	0.284	0.726	4.527	0.001
	LD(X4)	63.062	17.347	0.583	3.635	0.005
20~30% Group	(constant)	-0.138	1.576		-0.088	0.931
	LD(X4)	13.435	5.495	0.397	2.445	0.020

누수율 30% 이상 그룹에 대한 회귀분석 결과 노후 관 교체와 누수탐사에 대한 독립변수만 포함되었고, 상관계수는 0.865이며, 비표준화계수를 통한 누수관리 목표 산정식은 다음과 같이 도출되었다.

$$Y_{B1} = -15.781 + 1.287X_1 + 63.062X_4 \quad (3)$$

여기서,

$$Y_{B1} = \text{누수율 30\% 이상 그룹에 대한 누수율감소량(\%)}$$

동일한 방법으로 누수율 20~30% 그룹에 대한 누수관리 목표 산정식을 산정하면 식(4)와 같고, 상관계수는 0.397이다.

$$Y_{B2} = -0.138 + 13.435X_4 \quad (4)$$

여기서,

$$Y_{B2} = \text{누수율 20\~30\% 그룹에 대한 누수율감소량(\%)}$$

분석결과, 우수율 기준 분석결과와 유사한 결과를 도출할 수 있었지만, 모든 누수율 그룹에서 계량기 교체에 대한 누수저감활동은 누수율감소에 영향이 없는 것으로 분석되었다. 이는 계량기 교체시 계량기 불감수량이 감소하여 우수율증가 효과는 있을 수 있지만, 누수량 감소에는 영향이 없기 때문이다.

5. 결론

본 연구에서는 자료포락분석을 활용하여 지방상수도 효율화사업 및 현대화사업 등 지방중소도시를 대상으로 활용 가능한 누수관리 효율성 평가방법을 제시 및 검증하고 이 결과와 회귀분석방법을 활용하여 누수관리 목표를 산정하였다. 이를 위해, 노후관 교체, 계량기 교체, 누수복구, 누수탐사 등의 누수저감활동

에 대한 누수관리 투입지표와 우수율 증가량, 누수율 감소량 등의 누수관리 산출지표를 각 22개 K-water 위수탁 지방상수도의 2004~2018년까지의 연도별로 데이터를 활용하였다.

먼저 우수율 및 누수율 기준으로 구분하여 자료포락분석 방법을 통해 누수관리 효율성 평가와 누수관리에 대한 최적점을 도출할 수 있었다. 본 방법을 통해 투입되는 누수저감활동 대비 우수율 증가 또는 누수율 감소 효과가 큰 DMU를 산출할 수 있었으며, 우수율 기준의 경우, 우수율 60~70% 그룹에서는 WD2015, HP2012, 우수율 60~70% 그룹은 GR2008, HP2013 등 6개 DMU에서 규모효율성이 1로 가장 효율적인 DMU인 것으로 분석되었다. 그리고, 누수율 기준의 경우, 누수율 30%이상 그룹은 WD2015, CS2018, JU2006, 누수율 20~30% 그룹은 JH2014, HP2013 등 7개 DMU에서 규모효율성이 1로 가장 효율적인 DMU로 분석되었다.

자료포락분석에 의한 효율성 분석결과를 이용하여 효율성이 가장 높은 DMU를 나머지 DMU들이 벤치마킹을 하여 우수율 기준 29개, 누수율 기준 47개 DMU에 대하여 누수관리 효율성이 극대화되도록 하였다. 이를 통해 우수율 및 누수율 기준 그룹별로 4가지 누수저감활동에 대한 투입지표와 우수율증가량 및 누수율감소량에 대한 산출지표로 회귀분석에 의한 누수관리 목표 산정식을 도출하였다. 우수율 기준에 대한 누수관리 목표 산정식의 상관계수는 0.553, 0.771로 분석되었고, 누수율 기준에 대한 누수관리 목표 산정식의 상관계수는 0.397, 0.865로 분석되어 목표로 하는 누수율 및 우수율을 위한 4가지 누수저감활동의 물량 및 우선순위를 산정할 수 있었다.

본 연구결과는 K-water에서 위수탁 지방상수도에 대한 누수저감활동 실패데이터를 이용하여 분석한 것이라는 측면에서 향후 비슷한 규모 및 특성을 가지고



있는 지방상수도 현대화사업 및 효율화사업 등을 대상으로 누수관리 효율성 분석 및 누수관리 목표 산정 시 활용성이 클 것으로 판단된다. 특히, 사업추진 이전에는 사업목표 및 사업비 산정에 대한 근거자료로 활용할 수 있고, 사업추진 이후에는 사업목표 달성을 위한 누수저감활동별 우선순위 적용 및 사업평가 등에도 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

하지만, DMU의 그룹 및 조합에 따라 누수관리에 대한 효율성은 몇 개의 임계값들에 의해서 결과가 크게 달라질 수 있다. 이는 자료포락분석에 대한 결과물이 절대적인 효율성이 아닌 상대적인 효율성이기 때문이다. 또한, 누수관리 목표 산정식은 과거 이력데이터 확보가 어려운 대상에서도 활용할 수 있다는 측면에서 큰 의미가 있지만, 현재까지의 실데이터만으로는 통계적 유의성이 높지 않아 산정식에 포함되지 못한 인자들이 존재하며 이는 누수관리 목표 산정식에 대한 활용 측면에서 큰 단점으로 작용될 수 있다. 따라서 자료포락분석을 이용한 누수관리 목표 산정식의 활용성을 높이기 위해서는 단순한 많은 데이터의 수집만이 아니라, 누수저감활동에 대한 추가적인 영향 요인 발굴과 보다 정확한 데이터 관리가 요구된다.

결과적으로 누수관리 효율성 분석방법과 누수관리 목표 산정식 도출방법은 동일한 누수관리를 위한 목적으로 활용한다는 점에서 공통점이 있지만 그 활용 분야 및 범위에 대해서는 다음과 같이 차별화 할 수 있다. 즉, 누수관리 효율성 분석방법은 과거 이력 데이터를 활용하기 때문에 보다 정확한 효율성 분석이 가능하여 DMU별 효율성 순위 및 효율적인 누수관리를 위한 활동량을 정량화할 수 있어 누수관리를 위한 미시적 분석에 활용성이 높을 것으로 판단된다. 이에 반면, 누수관리 목표 산정식 도출방법은 누수관리 효율성 분석 결과에 비해 정확도가 낮지만, 적용 대상 범위를 확대시킬 수 있어 지방상수도 현대화사업 등과 같은 대규모 사업에 대한 개략사업물량 및 사업비 산정 등 거시적 분석에 활용성이 클 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 “글로벌탑 환경기술개발사업 (2016002120005)”으로 지원 받은 과제입니다.

References

- Banker, R.D., Charnes, R.F., and Cooper, W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Manage Sci.*, 30, 1078-1092.
- Choi, K., and Cho, J. (2014). Case Study on the Jeollabuk-do Local Water Supply Efficiency by using DEA and Malmquist Index, *JDC*, 12(12), 571-580.
- Choi, T., Kang, K., and Koo, J. (2015). Efficiency evaluation of leakage management using data envelopment analysis, *J. Am. Water Works Assoc.*, 107(1).
- Korea Water Resources Corporation. (2012). *Research on the Trend and Performance Evaluation of Major Countries*.
- Kim, N., Kim, S., and Lee, M. (2015). Waterworks Business Efficiency Analysis using Data Envelope Analysis, *KRUMA*, 28(4), 269-288.
- Kim, T., Choi, T., Kim, K., and Koo, J. (2015). A study on cost benefit analysis optimization model for water distribution network rehabilitation project of Taebaek region, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, 29(3), 395-406.
- Ko, S., Lee, S., and Kwon, Y. (2015). “Analysis of the Efficiency of Local Waterworks Business”, *Proceeding 2015 of The Korea Association for Local Government Studies*, South Korea, 271-298.
- Lambert, A.O. (1994). Accounting for losses: The bursts and background concept, *Water Environ. J.*, 8(2), 205-214.
- Lee, S. (1993). Balance analysis of distribution of local government public services, *Korea Assoc. Policy Stud.*, 2, 188-206.
- Won, G. (2010). Measuring the Efficiency of Local Water Supply Service, *Korean Local Government Review*, 12(3), 91-110.

pp. 113-120

pp. 121-133

pp. 135-142

pp. 143-152

pp. 153-162

pp. 163-174